

THERMAL TYPE AIR FLOW SENSOR

Patent Number: JP11258021
Publication date: 1999-09-24
Inventor(s): YAMADA MASAMICHI; UCHIYAMA KAORU; WATANABE IZUMI; NAKADA KEIICHI
Applicant(s): HITACHI LTD;; HITACHI CAR ENG CO LTD
Requested Patent: ☐ JP11258021
Application Number: JP19980065608 19980316
Priority Number(s):
IPC Classification: G01F1/68; F02D35/00; G01P5/12
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance a temperature characteristic in the case where polycrystal silicon is used for a heating resistor.

SOLUTION: Heating resistors 120A, 120B, a first air temperature measuring resistor 120C, a second air temperature measuring resistor 120D and a supporting part temperature measuring resistor 120E are provided on a semiconductor substrate 110 via an electric insulation film. The resistors are composed of a doped polycrystal silicon(Si) semiconductor film. Impurity concentration of the resistors 120A, 120B and the first air temperature measuring resistor 120C are made to be higher than those of the second temperature measuring resistor 120D and the supporting part temperature measuring resistor 120E.

Data supplied from the **esp@cenet** database - l2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-258021

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月24日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 F 1/68

G 0 1 F 1/68

F 0 2 D 35/00

G 0 1 P 5/12

C

G 0 1 P 5/12

F 0 2 D 35/00

3 6 6 E

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-65608

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月16日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 000232999

株式会社日立カーエンジニアリング

312 茨城県ひたちなか市高場2477番地

(72) 発明者 山田 雅通

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 内山 薫

茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株

式会社日立製作所自動車機器事業部内

(74) 代理人 弁理士 春日 譲

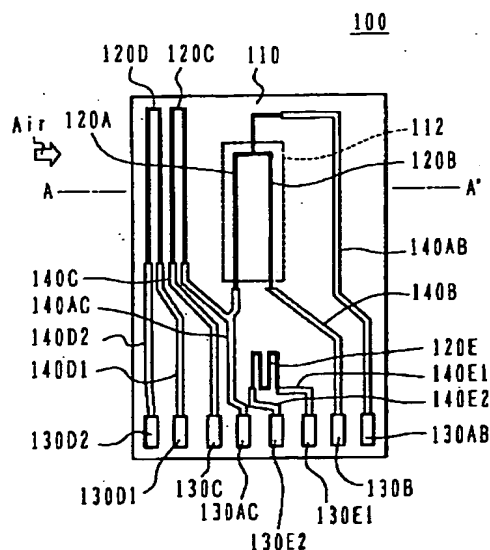
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱式空気流量センサ

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、発熱抵抗体として多結晶ケイ素を用いた場合において、温度特性の向上した熱式空気流量センサを提供することにある。

【解決手段】 半導体基板110上には、電気絶縁膜を介して発熱抵抗体120A、120Bと第1の空気温度測温抵抗体120Cの他に、第2の空気温度測温抵抗体120D、支持部温度測温抵抗体120Eが備えられている。これらの抵抗体120は、ドーブ処理された多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜によって構成する。発熱抵抗体120A、120Bと第1の空気温度測温抵抗体120Cの不純物濃度は、第2の空気温度測温抵抗体120D、支持部温度測温抵抗体120Eの不純物濃度より大きくされている。



120A: 上流側発熱抵抗体
120B: 下流側発熱抵抗体
120C: 第1の空気温度測温抵抗体
120D: 第2の空気温度測温抵抗体
120E: 指示部温度測温抵抗体

【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板上に電気絶縁膜を介して形成された発熱抵抗体と複数の測温抵抗体を有し、発熱抵抗体を用いて空気流量を測定する熱式空気流量センサにおいて、

上記発熱抵抗体及び測温抵抗体をドーブ処理された多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜によって構成し、
上記発熱抵抗体と少なくとも一つの測温抵抗体の不純物濃度を他の測温抵抗体の不純物濃度より大きくしたことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項2】請求項1記載の熱式空気流量センサにおいて、

上記発熱抵抗体と少なくとも一つの上記測温抵抗体のドーブ処理された多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜の不純物濃度を等しくしたことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項3】請求項1記載の熱式空気流量センサにおいて、

上記他の測温抵抗体は、空気温度を検出する空気温度測温抵抗体であり、上記絶縁膜上であって上記発熱抵抗体から離れた位置に形成されていることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項4】請求項1記載の熱式空気流量センサにおいて、

上記他の測温抵抗体は、上記半導体基板を支持する支持部の温度を検出する支持部温度測温抵抗体であり、上記絶縁膜上であって上記発熱抵抗体と外部と接続する端子電極の間の位置に形成されていることを特徴とする熱式空気流量センサ。

【請求項5】請求項1記載の熱式空気流量センサにおいて、

上記発熱抵抗体と少なくとも一つの測温抵抗体の不純物濃度を $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とし、他の測温抵抗体の不純物濃度を $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より小さくしたことを特徴とする熱式空気流量センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、熱式空気流量センサに係り、特に、内燃機関の吸入空気量を測定するのに好適な熱式空気流量センサに関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、自動車などの内燃機関の吸入通路に設けられ、吸入空気量を測定する空気流量センサとして、熱式空気流量センサが、質量空気量を直接検知できることから主流となってきた。熱式空気流量センサによって検出された空気流量信号を用いて、内燃機関の電子制御燃料噴射装置は、燃料噴射量を制御している。

【0003】熱式空気流量センサとしては、例えば、特開平8-54269号公報に記載されているように、半

導体基板上に、半導体マイクロマシニング技術により製造された空気流量センサが、コストが低減でき且つ低電力で駆動することができることから注目されている。

【0004】特開平8-54269号公報に記載された熱式空気流量センサにおいては、発熱抵抗体として、耐熱性および材料コストの利点から、多結晶ケイ素（ポリシリコン）が使用されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】特開平8-54269号公報に記載された熱式空気流量センサにおいては、半導体基板上に電気絶縁膜を介して発熱抵抗体として多結晶ケイ素（ポリシリコン）が使用されているが、空気温度を検出するための空気温度測温抵抗体が形成されていないため、空気温度が変化した場合に被測定空気の流量に対応した出力が誤差が生じるという問題がある。

【0006】従来の白金線を用いている熱式空気流量計においては、空気温度を検出するための空気温度測温抵抗体を用いて空気温度の補正をするようにしている。しかしながら、空気温度測温抵抗体の考え方を、特開平8-54269号公報に記載された熱式空気流量センサに適用したとしても、多結晶ケイ素特有の問題として、温度特性が悪いという問題がある。即ち、発熱抵抗体として、多結晶ケイ素を用いる場合には、発熱抵抗体の抵抗値はできるだけ小さくする必要があるが、抵抗値を小さくするために抵抗率を小さくすると、抵抗温度係数が小さくなる。多結晶ケイ素の抵抗温度係数は、従来から熱式空気流量センサに用いられている白金線の抵抗温度係数に比べて小さいため、温度特性が低下することになる。温度特性としては、例えば、吸気温度特性や壁温度特性がある。吸気温度特性は、空気の物性値である密度、動粘性係数、熱伝導率等の温度変化によって計測精度が低下するものである。壁温度特性は、熱式空気流量センサが自動車等の過酷な条件で使用される場合、内燃機関の温度上昇により熱式空気流量センサの発熱抵抗体及び空気温度測温抵抗体に熱が伝導し、計測精度が低下するものである。

【0007】本発明の目的は、発熱抵抗体として多結晶ケイ素を用いた場合において、温度特性の向上した熱式空気流量センサを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】（1）上記目的を達成するために、本発明は、半導体基板上に電気絶縁膜を介して形成された発熱抵抗体と複数の測温抵抗体を有し、発熱抵抗体を用いて空気流量を測定する熱式空気流量センサにおいて、上記発熱抵抗体及び測温抵抗体をドーブ処理された多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜によって構成し、上記発熱抵抗体と少なくとも一つの測温抵抗体の不純物濃度を他の測温抵抗体の不純物濃度より大きくするようにしたものである。かかる構成により、他の測温抵抗体の抵抗温度係数を大きくして、温度特性の補正

精度を向上し得るものとなる。

【0009】(2) 上記(1)において、好ましくは、上記発熱抵抗体と少なくとも一つの上記測温抵抗体のドーパ処理された多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜の不純物濃度を等しくしたものである。かかる構成により、発熱抵抗体と少なくとも一つの測温抵抗体の抵抗温度係数が等しくなるため、これらの抵抗体によりブリッジ回路を構成する際に、ブリッジ回路に用いる他の抵抗の抵抗値の設定が容易に行えるものとなる。

【0010】(3) 上記(1)において、好ましくは、上記他の測温抵抗体は、空気温度を検出する空気温度測温抵抗体であり、上記絶縁膜上であって上記発熱抵抗体から離れた位置に形成するようにしたものである。かかる構成により、空気温度測温抵抗体は、発熱抵抗体の発熱の影響を受けることなく、空気温度の検出精度を向上し得るものとなる。

【0011】(4) 上記(1)において、好ましくは、上記他の測温抵抗体は、上記半導体基板を支持する支持部の温度を検出する支持部温度測温抵抗体であり、上記絶縁膜上であって上記発熱抵抗体と外部と接続する端子電極の間の位置に形成するようにしたものである。かかる構成により、支持部温度測温抵抗体は、支持部から発熱抵抗体への伝熱の影響を検出して、壁温度特性の補正精度を向上し得るものとなる。

【0012】(5) 上記(1)において、好ましくは、上記発熱抵抗体と少なくとも一つの測温抵抗体の不純物濃度を $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とし、他の測温抵抗体の不純物濃度を $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より小さくしたものである。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、図1～図11を用いて、本発明の一実施形態による熱式空気流量センサについて説明する。最初に、図1及び図2を用いて、本実施形態による熱式空気流量センサ素子の構成について説明する。図1は、本発明の一実施形態による熱式空気流量センサ素子の構成を示す平面図であり、図2は、図1のA-A断面図である。

【0014】本実施形態による熱式空気流量素子100は、シリコン基板110の上に形成された上流側発熱抵抗体120Aと下流側発熱抵抗体120Bと第1の空気温度測温抵抗体120Cとに加えて、温度特性を改善するために、第1の空気温度測温抵抗体120Dと、支持部温度測温抵抗体120Eとを備えている。

【0015】上流側発熱抵抗体120Aは、吸入空気流Airの方向(順流)に対して、上流側に配置されており、下流側発熱抵抗体120Bは、上流側発熱抵抗体120Aの下流側に配置されている。第1の空気温度測温抵抗体120Cは、吸入空気温度を測定するものである。

【0016】第2の空気温度測温抵抗体120Dも、第

1の空気温度測温抵抗体120Cと同様にして、吸入空気温度を測定するものである。但し、後述するように、第2の空気温度測温抵抗体120Dは、第1の空気温度測温抵抗体120Cに比べて抵抗温度係数が大きくなるように構成されており、吸気温補正のために配置されている。

【0017】また、支持部温度測温抵抗体120Eは、センサ支持部の温度を測定するもので、内燃機関側からの熱伝導による壁温度補正のために配置されているものであり、第2の空気温度測温抵抗体120D同様に、抵抗温度係数が大きくなるように構成されている。

【0018】シリコン基板110の大きさは、例えば、図示の例では、短辺が2mmであり、長辺が6mm程度の小型なものである。

【0019】上流側発熱抵抗体120Aと、下流側発熱抵抗体120Bとは、図2を用いて後述するように、シリコン基板110に形成された空洞部112の上に形成されている。

【0020】シリコン基板110の端部には、端子電極130AB、130B、130E1、130E2、130AC、130C、130D1、130D2が形成されている。上流側発熱抵抗体120Aの一端及び第1の空気温度測温抵抗体120Cの一端は、両者に共通の引出線140ACによって端子電極130ACに接続され、上流側発熱抵抗体120Aと下流側発熱抵抗体120Bの接続点は、引出線140ABによって端子電極130ABに接続され、下流側発熱抵抗体120Bの一端は、引出線140Bによって端子電極130Bに接続されている。第1の空気温度測温抵抗体120Cの他端は、引出線140Cによって端子電極130Cに接続されている。また、第2の空気温度測温抵抗体120Dの両端は、それぞれ、引出線140D1、140D2によって端子電極130D1、130D2に接続されており、支持部温度測温抵抗体120Eの両端は、それぞれ、引出線140E1、140E2によって端子電極130E1、130E2に接続されている。

【0021】次に、図2を用いて、本実施形態による熱式空気流量素子100の断面構造について説明する。図2は、図1のA-A断面を示している。

【0022】シリコン基板110の上には、電気絶縁膜150が形成される。電気絶縁膜150としては、二酸化ケイ素(SiO_2)若しくは、窒化ケイ素(Si_3N_4)が用いられる。また、電気絶縁膜150としては、二酸化ケイ素(SiO_2)の上に窒化ケイ素(Si_3N_4)を積層されたものでもよい。電気絶縁膜150として、二酸化ケイ素(SiO_2)と窒化ケイ素(Si_3N_4)を積層したものを用いると、二酸化ケイ素は、シリコン基板に比べて熱膨張係数が約 $1/10$ と小さいため、シリコン基板より熱膨張係数の若干大きく、しかも、機械的強度が高い窒化ケイ素を用いることにより、

シリコン基板110と電気絶縁膜150の間の熱応力を低減して、強度を向上することができる。

【0023】電気絶縁膜150の上に、多結晶ケイ素(Poly-Si)に不純物をドーブした半導体薄膜によって抵抗体120A、120B、120C、120D、120Eが形成される。なお、第2の空気温度測温抵抗体120D、及び支持部温度測温抵抗体120Eの抵抗温度係数を、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cの抵抗温度係数に比べて大きくするために、第2の空気温度測温抵抗体120D、及び支持部温度測温抵抗体120Eにドーブ処理される不純物濃度を、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cにドーブされる不純物濃度に比べて小さくしている。

【0024】抵抗体120の上に、保護膜155が形成される。保護膜155としては、二酸化ケイ素(SiO_2)若しくは窒化ケイ素(Si_3N_4)が用いられる。また、保護膜155としては、二酸化ケイ素(SiO_2)と窒化ケイ素(Si_3N_4)を積層したものとする事もできる。保護膜155は、吸入空気中に含まれる油や水等の異物から抵抗体120を保護するために形成される。

【0025】また、シリコン基板110の中央部であって、発熱抵抗体120A、120B及び測温抵抗体120Cの下領域には、空洞部112が形成される。空洞部112は、シリコン基板110を異方性エッチングすることにより、電気絶縁膜150との境界面まで形成される。空洞部112を形成することにより、発熱抵抗体120A、120B及び測温抵抗体120Cは、電気絶縁膜150と保護膜155とからなる薄いダイヤフラム115によって支持される構造となり、空洞部112により熱絶縁された構造となるため、空洞部112の所にシリコン基板が存在する場合に比べて、発熱抵抗体120A、120B及び測温抵抗体120Cからなる空気流量を測定するセンサ部分の熱容量を小さくして、熱式空気流量素子の応答性を向上することができる。

【0026】次に、図3を用いて、図1に示した熱式空気流量センサ素子を支持体に取り付けた構成の本実施形態による熱式空気流量センサの構成について説明する。図3は、本発明の一実施形態による熱式空気流量センサの構成を示す平面図である。

【0027】抵抗体120A、120B、120C、120D、120Eが取り付けられた熱式空気流量センサ素子100は、支持体170の先端部に固定される。また、支持体170の上には、アルミナ等の電気絶縁基板上に端子電極180および駆動制御回路200が、固定される。熱式空気流量センサ素子100と駆動制御回路200は、端子電極130及び端子電極180の間を、金線190等でワイヤボンディングにより電氣的に接続される。

【0028】さらに、金線190、電極端子130、180や駆動制御回路200を保護するために、これらの上側から支持体172により密封保護される。支持体172は、支持部温度測温抵抗体120Eも密封しており、吸入空気Airに直接晒されないようにしている。なお、支持部温度測温抵抗体120Eは、吸入空気Air中に露出する構成とすることも可能である。

【0029】次に、図4を用いて、本実施形態による熱式空気流量計を内燃機関の吸気管に取り付けた状態について説明する。図4は、本発明の一実施形態による熱式空気流量計の内燃機関の吸気管への取付状態を示す断面図である。

【0030】熱式空気流量素子100は、支持体170の先端部に取り付けられている。支持体170の他端部には、支持体174が固定されている。熱式空気流量素子100、支持体170、及び支持体174は、一体化されており、インサート型の熱式空気流量計を構成している。

【0031】自動車等の内燃機関の吸気通路300の中には、空気流の一部を流通する副通路310が設けられている。吸気通路300の側壁には、支持体170が挿入可能な開口が形成されており、先端に熱式空気流量素子100を備えた支持体170が、この開口内に挿入され、支持体174を用いて、吸気通路400に固定される。このとき、熱式空気流量素子100は、副通路310の中に挿入される。

【0032】通常、吸入空気は、矢印で示す空気流Airの方向に流れているが、内燃機関の運転条件によっては、矢印の方向とは逆方向(逆流)に吸入空気が流れる。

【0033】次に、図5を用いて、本実施形態による熱式空気流量素子を用いた熱式空気流量計の回路構成について説明する。図5は、本発明の一実施形態による熱式空気流量素子を用いた熱式空気流量計の回路図である。

【0034】上流側発熱抵抗体120A、下流側発熱抵抗体120B及び抵抗210からなる直列回路に対して、第1の空気温度測温抵抗体120C及び抵抗215からなる直列回路が並列に接続されており、ブリッジ回路を構成している。このブリッジ回路には、トランジスタ220を介して、電源230から加熱電流が供給される。ブリッジ回路の midpoint 電圧である抵抗210の両端電圧(電位Ea)及び抵抗215の両端電圧(電位Ed)は、それぞれ、入力回路250に取り込まれる。入力回路250は、A/D変換器を含んでいる。CPU260は、演算処理を行うものであり、上流側発熱抵抗体120A及び下流側発熱抵抗体120Bの温度(Th)が、第1の空気温度測温抵抗体120Cによって検出される空気温度(Ta)よりも一定温度($\Delta T_h = T_h - T_a = 150^\circ\text{C}$)高くなるように制御する。CPU260は、出力回路270から制御信号をトランジスタ220

に出力して、トランジスタ220をオン／オフして、発熱抵抗体120A、120Bを流れる電流を制御して、発熱抵抗体120A、120Bの発熱量を制御する。出力回路270は、D/A変換器を含んでいる。発熱抵抗体120A、120Bの温度が設定温度よりも低いと、トランジスタ220をオンして加熱電流を流し、設定温度よりも高くなると、トランジスタ220をオフするように制御して、発熱抵抗体120A、120Bの温度が、空気温度よりも一定温度高くなるように制御する。

【0035】発熱抵抗体120A、120Bを流れる加熱電流は、抵抗210の両端電圧（電位Ea）として、入力回路250に取り込まれ、空気流量の検出に用いられる。また、上流側発熱抵抗体120A及び下流側発熱抵抗体120Bの両端電圧（電位Ea、Eb、Ec）は、それぞれ、入力回路250に取り込まれ、空気流の方向の検出に用いられる。

【0036】ここで、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cは、ブリッジ回路を構成している。従って、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cの抵抗温度係数（ α ）を等しくすると、発熱抵抗体120A、120Bの温度（Th）を設定する際（例えば、 $\Delta Th = 150^\circ\text{C}$ ）に、抵抗210、215の抵抗値が単純な比の関係となるため、抵抗値の設定が容易になる。発熱抵抗体120A、120Bは高温に加熱されるため、熱式空気流量センサの消費電流を少なくするためには、発熱抵抗体120A、120Bの抵抗値を、例えば、50～900 Ω 程度まで小さくする必要がある。しかしながら、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cとして、多結晶ケイ素に不純物をドーパ処理したものをを用いる場合には、抵抗値を小さくするために抵抗率を小さくすると、抵抗温度係数（ α ）も小さくなる。従って、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cの抵抗温度係数（ α ）を等しくすると、第1の空気温度測温抵抗体120Cの抵抗温度係数（ α ）が小さくなる。抵抗温度係数（ α ）が小さいと、吸気温度や壁温度等の温度特性の補正精度が低下することになる。

【0037】そこで、本実施形態においては、第2の空気温度測温抵抗体120D、及び支持部温度測温抵抗体120Eを備えている。第2の空気温度測温抵抗体120Dと抵抗240の直列回路、及び支持部温度測温抵抗体120Eと抵抗245の直列回路は、それぞれ、基準電源Vrefに接続されている。第2の空気温度測温抵抗体120Dの両端電圧（電位Ee）は、入力回路250に取り込まれる。また、支持部温度測温抵抗体120Eの両端電圧（電位Ef）も、入力回路250に取り込まれる。第2の空気温度測温抵抗体120Dの抵抗値は、吸入空気の温度によって変化するため、CPU260は、取り込まれた電位Eeに基づいて吸気温度を求め

る。また、支持部温度測温抵抗体120Eの抵抗値は、熱式空気流量センサの支持部の温度によって変化するため、CPU260は、取り込まれた電位Efに基づいて、支持部の温度を求め、さらに、支持部温度に基づいて、吸気管の壁温度を求める。メモリ回路280には、吸気温度及び壁温度に対する吸入空気量の補正値が記憶されており、CPU260は、この補正値に基づいて、空気流量の補正演算を行い、出力回路270から空気流量Qと空気温度Taの信号を出力する。なお、吸気温度補正と壁温度補正の詳細については、図6を用いて後述する。

【0038】次に、図5に示した回路の動作について説明する。最初に、本実施形態による熱式空気流量素子の空気流量検知動作について説明する。上流側発熱抵抗体120A及び下流側発熱抵抗体120Bは、トランジスタ220を介して電源230から加熱電流が供給されており、発熱する。上流側発熱抵抗体120A及び下流側発熱抵抗体120Bの温度（Th）は、抵抗210の両端電圧として検出され、電位Eaとして、制御回路300に入力する。一方、吸入空気通路に流入する吸入空気の温度（Ta）は、第1の空気温度測温抵抗体120Cにより検出され、電位Edとして、制御回路300に入力する。制御回路300は、発熱抵抗体120A、120Bの温度（Th）が、吸入空気の温度（Ta）に対して、所定温度 ΔTh （例えば、 150°C ）だけ高くなるように、トランジスタ220をオン／オフして、発熱抵抗体120A、120Bに供給する加熱電流を制御する。第1の空気温度測温抵抗体120Cの温度が設定値よりも低い場合には、CPU260は、トランジスタ220をオンして、測温抵抗体120Cの温度が設定値よりも高い場合には、CPU260は、トランジスタ220をオフする。発熱抵抗体120A、120Bから奪われる熱量は吸入空気の量に比例するため、発熱抵抗体120A、120Bを加熱する加熱電流の値が、空気量に対応した値となる。そこで、抵抗210の両端電圧（電位Ea）がCPU260に入力して加熱電流を検出し、第2の空気温度測温抵抗体120Dによって検出された吸気温度と支持部温度測温抵抗体120Eによって検出された支持部温度に基づいて、メモリ回路280に記憶されている補正値を用いて吸気温度特性及び壁温度特性を補正した後、空気流量Q、空気温度Taとして出力する。

【0039】次に、本実施形態による熱式空気流量素子による空気流Airの方向検知動作について説明する。空気流Airの流量が零のときは、上流側発熱抵抗体120Aと下流側発熱抵抗体120Bの間に温度差は生じない。それに対して、図1に示したような空気流Airの方向（順流）の場合には、上流側発熱抵抗体120Aの方が、下流側発熱抵抗体120Bより空気流Airによる冷却効果が大きく、また、上流側発熱抵抗体120

A, 120Bは直列接続であり、同じ加熱電流が流れているため、発熱量は一定であることから、上流側発熱抵抗体120Aの温度が、下流側発熱抵抗体120Bより低い値となる。また、空気流Airが、図示する方向と逆（逆流）の場合には、先程の場合とは反対に、下流側発熱抵抗体120Bの方が上流側発熱抵抗体120Aより空気流Airによる冷却効果が大きく、下流側発熱抵抗体120Bの方が上流側発熱抵抗体120Aの温度よりも低くなる。

【0040】そこで、CPU260は、上流側発熱抵抗体120Aの両端電圧（電位Ecと電位Eb）と、下流側発熱抵抗体120Bの両端電圧（電位Ebと電位Ea）を比較して、両抵抗体の温度（抵抗値）を比較することにより、空気流の方向を検知する。

【0041】次に、図6～図10を用いて、本実施形態による温度特性の補正について説明する。最初に、図6を用いて、本実施形態による熱式空気流量センサによる温度特性の補正原理について説明する。図6は、本発明の一実施形態による熱式空気流量センサによる温度特性の補正原理の説明図である。

【0042】自動車等の内燃機関では、内燃機関の熱により、図4に示す吸気通路300および支持体170の温度（壁温度）が上昇する。支持体170の温度が上昇すると、図6（B）に示すように、支持体170の熱が熱式空気流量センサ100に伝熱して、空気流量の計測に誤差を生じさせ、温度特性を悪くする。

【0043】図6（B）は、支持体170及び支持体170に支持された熱式空気流量センサ100及び駆動制御回路200の平面形状を示しており、図6（A）は、図6（B）のB-B'線上の温度分布を示している。

【0044】図6（A）に示すように、内燃機関の熱が支持体170から駆動制御回路200へ、更に、熱式空気流量センサ100の端子電極部130、支持部温度測温抵抗体120E、発熱抵抗体120A、120B、第1及び第2の空気温度測温抵抗体120C、120Dへと熱伝搬する。吸気温度をTaとし、発熱抵抗体120A、120Bの温度Thを、吸気温度Taに対して、 ΔTh だけ高くなるように制御する場合、壁温度Twの影響によって、空気流量を計測する発熱抵抗体120A、120Bおよび第1の空気温度測温抵抗体120Cに不要な熱が伝搬し、空気流量の計測精度に悪影響を与える。

【0045】また、駆動制御回路200自身の発熱でも、同様に不要な熱伝搬がおき、計測精度に悪影響を与える。この影響が壁温度特性である。本実施形態においては、支持部温度Tw'を検出する支持部温度測温抵抗体120Eを、発熱抵抗体120A、120Bと端子電極130間に形成し、補正を行うことにより壁温度特性を改善している。

【0046】また、吸気温度の補正のために設けられて

いる第2の空気温度測温抵抗体120Cは、できるだけ正確に、吸気温度Taを測定する必要がある。支持体170は、内燃機関の壁温度Twによって加熱されているため、第2の空気温度測温抵抗体120Cは、支持体170の基部（吸気管に近い側）から離れた位置、即ち、支持体170の先端部寄りに設けるようにしている。また、発熱抵抗体120A、120Bは、高温に加熱されており、発熱抵抗体120A、120Bが配置されているダイヤフラム115の部分は熱容量が小さいため、第2の空気温度測温抵抗体120Cは、発熱抵抗体120A、120Bから離れた位置であって、ダイヤフラム115の外側に配置するようにしている。

【0047】次に、図7を用いて、壁温度特性及びその補正について説明する。図7は、本発明の一実施形態による熱式空気流量センサにおける壁温度特性の説明図である。

【0048】図7において、横軸は空気流量（Q）を示しており、縦軸は、壁温度（Tw）が25℃を基準とした空気流量の計測誤差（ $\Delta Q/Q$ ）を示している。壁温度（Tw）が80℃であって、壁温度補正を行わない場合には、特に低流量側において誤差が10%程度発生している。

【0049】そこで、本実施形態においては、図5を用いて説明したように、支持部温度測温抵抗体120Eの電位Efから壁温度（Tw）に比例した支持部温度（Tw'）が、また加熱電流（空気流量）に対応する電位EaがCPU260に入力される。また、図7に示した壁温度特性に基づいた壁温度補正データが、予めメモリ回路280に記憶されている。CPU260は、メモリ回路280に記憶された壁温度補正データを用いて、支持部温度測温抵抗体120Eによって検出された支持部温度（Tw'）に基づいて、壁温度補正が可能となる。本実施形態による壁温度補正を適用した場合、図中に矢印で示したようにほぼ流量誤差が零となる。

【0050】メモリ回路280には、予め個々の熱式空気流量計毎に、固有の壁温度特性を記憶しておき、計測空気流量（Q）、支持部温度（Tw'）と補正値をマップとして記憶しても、また、近似的な誤差関数として記憶しても壁温度補正が可能である。

【0051】次に、図8を用いて、吸気温度特性及びその補正について説明する。図8は、本発明の一実施形態による熱式空気流量センサにおける吸気温度特性の説明図である。

【0052】図8において、横軸は空気流量（Q）を示しており、縦軸は、吸気温度（Ta）が25℃基準の空気流量の計測誤差（ $\Delta Q/Q$ ）を示している。図中の実線は、図5に示した発熱抵抗体120A、120Bと第1の吸気温度測温抵抗体120Cからなるブリッジ回路だけで吸入空気量を検出した場合の吸気温度特性を示している。

【0053】吸気温度（ T_a ）が低温（ -30°C ）の場合には、空気流量が低流量域ではマイナス誤差で高流量域ではプラス誤差となる。一方、吸気温度（ T_a ）が高温（ 80°C ）の場合には、逆の符号の誤差になる。

【0054】本実施形態における吸気温度補正は、第2の空気温度測温抵抗体120Dの電位 E_e から吸気温度（ T_a ）が高精度で計測可能であり、また、加熱電流（空気流量）に対応する電位 E_a からCPU260に入力される。また、図8に示した吸気温度特性に基づいた吸気温度補正データが、予めメモリ回路280に記憶されている。CPU260は、メモリ回路280に記憶された吸気温度補正データを用いて、第2の空気温度測温抵抗体120Dによって検出された吸気温度（ T_a ）に基づいて、吸気温度補正が可能となる。本実施形態による吸気温度補正を適用した場合、図中に矢印で示したように、空気の物性値である密度、動粘性係数、熱伝導率等の温度変化に関しては考慮して補正することにより、ほぼ流量誤差が零となる。

【0055】メモリ回路280には、予め個々の熱式空気流量計毎に、固有の吸気温度特性を記憶しておき、計測空気流量（ Q ）、吸気温度（ T_a ）と補正値をマップとして記憶してもよい。また、補正した空気流量（ Q ）とともに第2の空気温度測温抵抗体120Dから検出される高精度の吸気温度（ T_a ）を同時に出力することも可能である。

【0056】次に、図9及び図10を用いて、本実施形態の各抵抗体に不純物のドーブ量について説明する。図9は、抵抗率と抵抗温度係数の関係を示す説明図であり、図10は、不純物濃度と抵抗率の関係を示す説明図である。

【0057】本実施形態では、発熱抵抗体4120A、120B、第1及び第2の空気温度測温抵抗体120C、120Dおよび支持部温度測温抵抗体120Eとして、ドーブ処理された多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜を用いている。この様にドーブ処理された多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜を用いることにより、白金等の貴金属に比較して材料コストが低減でき、また、不純物濃度を制御することにより各抵抗体に最適の抵抗率（ ρ ）及び抵抗温度係数（ α ）が選択できるという利点がある。

【0058】本実施形態における発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cとしては、上述したようにブリッジ回路を構成することから抵抗温度係数を一致させる必要があり、且つ発熱抵抗体としては駆動電圧を低減するために低抵抗にする必要がある。一方、第2の空気温度測温抵抗体120D及び支持部温度測温抵抗体120Eとしては、感度を上げるために抵抗温度係数（ α ）を大きくする必要がある。

【0059】そこで、本実施形態においては、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cの不純物濃度を、第2の空気温度測温抵抗体120D及び支持部温度測温抵抗体120Eの不純物濃度より大きくし、最適化を図っている。

【0060】図9は、ドーブ処理された多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜において、不純物濃度を変化させた場合の抵抗率（ ρ ）と抵抗温度係数（ α ）の関係を示している。多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜では、不純物濃度が増すに従い実線で示すように抵抗率（ ρ ）が小さくなるとともに抵抗温度係数（ α ）も減少する。多結晶ケイ素（Si）半導体膜は、一般的にサーミスタ的な抵抗-温度特性を示すが、温度範囲が比較的狭く且つ不純物ドーブ処理された場合には、下記の式（1）で示される金属的な抵抗-温度特性を示す。

【0061】

$$R=R_0(1+\alpha(T-T_0)) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 R は温度（ T ）における半導体膜の抵抗値であり、 R_0 は温度（ T_0 ）における半導体膜の抵抗値であり、 α は抵抗温度係数である。

【0062】抵抗温度係数（ α ）が大きいほうが温度に対しての抵抗値の変化が大きくとれることから、第2の空気温度測温抵抗体120D及び支持部温度測温抵抗体120Eに対しては、不純物濃度の低い領域DLの不純物濃度が選択される。

【0063】一方、発熱抵抗体120A、120Bとしては、測温抵抗体120D、120Eと同じ不純物濃度領域DLでは抵抗率（ ρ ）が大きくなり過ぎる。従って、所望の温度（ $\Delta T=150^{\circ}\text{C}$ ）に発熱抵抗体120A、120Bを加熱しようとする、発熱抵抗体120A、120Bの抵抗値が大きくなり、高い駆動電圧が必要となり十分に加熱出来ないという問題が生ずる。そこで、発熱抵抗体120A、120Bの抵抗値を下げるためには、多結晶ケイ素（Si）半導体膜の膜厚を厚くする対応が考えられるが、膜厚を厚くすると所望のパターンに精度良くエッチングすることが難しくなり、材料コストの面からも好ましくない。エッチングが精度良く実現出来る多結晶ケイ素（Si）半導体膜の膜厚は約1ミクロンが限界であり、この厚さで10ボルト以下の駆動電圧で駆動出来る発熱抵抗体120A、120Bの抵抗値は1k Ω 以下であり、従って、領域DHで示した抵抗率（ ρ ）が小さく、不純物濃度が高い領域が選択される。また、第1の空気温度測温抵抗体120Cは、発熱抵抗体120A、120Bとブリッジ回路を構成することから、抵抗温度係数（ α ）を一致させる必要があり、発熱抵抗体120A、120Bと同じ不純物濃度が選択される。本実施形態における発熱抵抗体120A、120Bの抵抗値としては、電源電圧および発熱量の関係から50～900 Ω 、第1及び第2の空気温度測温抵抗体120C、120Dおよび支持部温度測温抵抗体120Eの抵抗値としては、1～5k Ω を選択した。

【0064】例えば、発熱抵抗体120A、120Bは、膜厚を1 μm とし、幅を100 μm とし、長さを4

00 μm とし、抵抗率を $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ とすることにより、抵抗値を400 Ω とすることができる。抵抗率が $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ のときの抵抗温度係数は、図9から、 $1000 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ となる。また、不純物濃度は、図10から、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ とする必要がある。

【0065】また、例えば、第2の空気温度測温抵抗体120Dおよび支持部温度測温抵抗体120Eは、膜厚を1 μm とし、幅を50 μm とし、長さを1mmとし、抵抗率を $1 \times 10^{-1} \Omega \text{cm}$ とすることにより、抵抗値を5 k Ω とすることができる。抵抗率が $1 \times 10^{-1} \Omega \text{cm}$ のときの抵抗温度係数は、図9から、約 $3000 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ となる。また、不純物濃度は、図10から、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ とする必要がある。

【0066】次に、図11を用いて、本実施形態による熱式空気流量センサ素子の製造工程について説明する。図11は、本発明の一実施形態による熱式空気流量センサ素子の製造工程を示す工程図である。

【0067】図11(a)に示すように、シリコン半導体基板110の上下面に熱酸化処理により二酸化ケイ素(SiO_2)層150、150Aを約0.5 μm の厚さに形成する。ここで、シリコン半導体基板110の上面に形成した電気絶縁膜150としては、二酸化ケイ素以外の構成材でも可能である。例えば、機械強度が高く熱膨張係数がシリコン半導体基板110より若干大きい窒化ケイ素(Si_3N_4)を用いても、或いは熱膨張係数がシリコン半導体基板110の1/10である二酸化ケイ素と熱膨張係数がシリコン半導体基板110より若干大きい窒化ケイ素の多層構成とし、熱膨張係数のマッチングを図った構成とすることにより、温度変化によるシリコン半導体基板110と電気絶縁膜150間の熱応力が低減でき強度向上が図られる。

【0068】次に、同図(b)に示すように、電気絶縁膜150上に発熱抵抗体120A、120B、第一及び第二の空気温度測温抵抗体120C、120D及び支持部温度測温抵抗体120E(図示せず)として、多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜を約1ミクロンの厚さでCVD等の方法で形成後、公知のホトリソグラフィ技術によりレジストを所定の形状に形成した後、反応性イオンエッチング等の方法により半導体薄膜をパターニングする。ここで、多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜は、プラズマを用いたLPCVDあるいは電子サイクロトロン共鳴を用いたECR-PCVD、マイクロ波を用いたCVD等の方法にて形成する。原料ガスは、モノシラン(SiH_4)、ホスフィン(PH_3)、水素(H_2)を用い、不純物ドーパ材としての燐(P)の量はホスフィン(PH_3)ガスの流量により制御でき、不純物濃度としては $3 \times 10^{19} (\text{cm}^{-3})$ 以下になるように制御する。ここで、不純物ドーパ処理は上記以外の方法でも可能であり、未ドーパ処理の多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜を形成した後、熱拡散あるいはイオン打ち込み等の方法に

より不純物のドーパ処理を行っても良いものである。

【0069】次に、同図(c)に示すように、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cの不純物濃度のみを $3 \times 10^{19} (\text{cm}^{-3})$ 以上に高めるために、更に不純物ドーパ処理を加える。第2の空気温度測温抵抗体120D及び支持部温度測温抵抗体120Eは、二酸化ケイ素等のマスク材MSKにより被覆された後、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cに対して、熱拡散あるいはイオン打ち込み等の方法により、更にP(燐)等の不純物ドーパ処理がなされ、不純物濃度を $3 \times 10^{19} (\text{cm}^{-3})$ 以上の高濃度にドーパ処理される。マスク材MSKは、ドーパ処理終了後、ドライエッチング等により除去される。その後、図示していない端子電極及び各抵抗体と端子電極を接続するための引出線が、アルミニウム、金等で形成される。

【0070】次に、同図(d)に示すように、端子電極以外の部分を保護するために、保護膜155を先の電気絶縁膜150と同様に約0.5ミクロンの厚さに形成する。次に、シリコン半導体基板110に空洞112を形成するために、基板裏面のエッチングのマスク材150Aを所定の形状にパターニングし、半導体基板110のエッチング部110Xのみを露出させる。マスク材としては二酸化ケイ素あるいはよりエッチング選択比の高い窒化ケイ素等が用いられる。

【0071】さらに、同図(e)に示すように、最後に、シリコン半導体基板110の裏面を水酸化カリウム(KOH)等のエッチング液を用いて異方性エッチングすることにより、空洞112を形成する。

【0072】なお、上述の説明では、不純物としてP(燐)を用いているが、同じくn形の不純物としてはN(窒素)、Sb(アンチモン)、As(ヒ素)が、一方P形の不純物としてはAl(アルミニウム)、B(ボロン)等を用いても良いものである。

【0073】以上説明したように、本実施形態によれば、発熱抵抗体120A、120B及び第1の空気温度測温抵抗体120Cの不純物濃度を、第2の空気温度測温抵抗体120D及び支持部温度測温抵抗体120Eの不純物濃度より大きく構成したことにより、発熱抵抗体120A、120Bの抵抗率(ρ)を比較的小さくできることから、発熱抵抗体の抵抗値の設計自由度が向上する。

【0074】また、第2の空気温度測温抵抗体120D及び支持部温度測温抵抗体120Eの抵抗温度係数(α)を比較的大きく保つことができ、測温感度の向上が図られる。従って、吸気温度補正と壁温度補正を精度よく行え、温度特性が向上する。

【0075】さらに、各抵抗体を不純物濃度を変えた多結晶ケイ素(Si)半導体薄膜で構成することにより、高価な白金等の様に別個の材料で構成する必要がなく、

一括して同時に多結晶ケイ素（Si）半導体薄膜を形成できるので、熱式空気流量センサを低コストで製作することができる。

【0076】また、発熱抵抗体120Aと第1の空気温度測温抵抗体120Cの接続端子は共通の引出線で取り出されるように配置されるので、端子電極の数が低減できるので、熱式空気流量センサを低コストで製作することができる。

【0077】なお、以上の説明では、測温抵抗体として、第1及び第2の空気温度測温抵抗体120C、120Dと支持部温度測温抵抗体120Eの場合について記載したが、必ずしも、この構成に限定するものではない。支持部温度測温抵抗体120Eがない場合においても、また、新たに、例えば発熱抵抗体の温度を検出する測温抵抗体を追加した場合等、複数の測温抵抗体の構成にて本発明が適用できることは自明である。

【0078】

【発明の効果】本発明によれば、発熱抵抗体として多結晶ケイ素を用いた場合において、熱式空気流量センサの温度特性の向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態による熱式空気流量センサ素子の構成を示す平面図である。

【図2】図1のA-A断面図である。

【図3】本発明の一実施形態による熱式空気流量センサの構成を示す平面図である。

【図4】本発明の一実施形態による熱式空気流量計の内燃機関の吸気管への取付状態を示す断面図である。

【図5】本発明の一実施形態による熱式空気流量素子を用いた熱式空気流量計の回路図である。

【図6】本発明の一実施形態による熱式空気流量センサによる温度特性の補正原理の説明図である。

【図7】本発明の一実施形態による熱式空気流量センサにおける壁温度特性の説明図である。

【図8】本発明の一実施形態による熱式空気流量センサにおける吸気温度特性の説明図である。

【図9】抵抗率と抵抗温度係数の関係を示す説明図である。

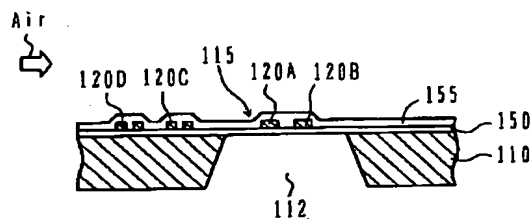
【図10】不純物濃度と抵抗率の関係を示す説明図である。

【図11】本発明の一実施形態による熱式空気流量センサ素子の製造工程を示す工程図である。

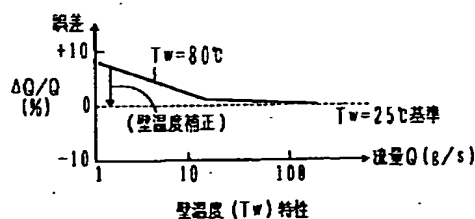
【符号の説明】

- 100…熱式空気流量センサ素子
- 110…シリコン基板
- 112…空洞部
- 115…ダイヤフラム
- 120A…上流側発熱抵抗体
- 120B…下流側発熱抵抗体
- 120C…第1の空気温度測温抵抗体
- 120D…第2の空気温度測温抵抗体
- 120E…支持部温度測温抵抗体
- 130…端子電極
- 150…電気絶縁膜
- 155…保護膜
- 170, 172, 174…支持体
- 200…制御回路
- 300…吸入空気通路
- 310…副通路

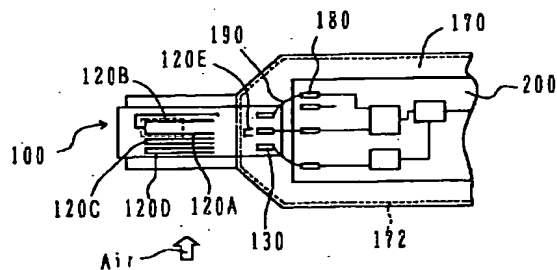
【図2】



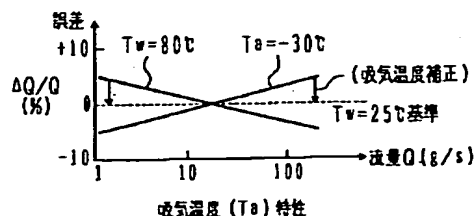
【図7】



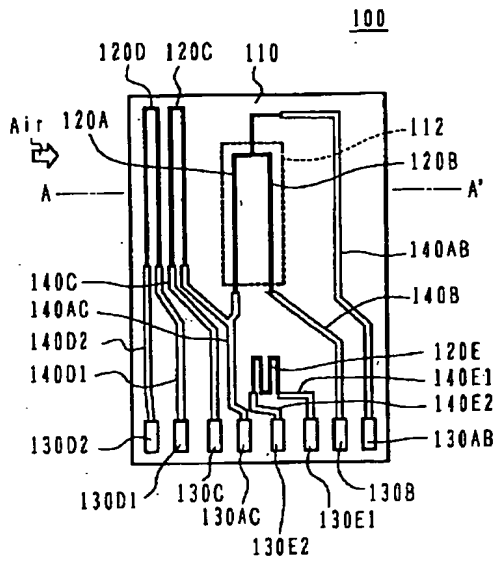
【図3】



【図8】

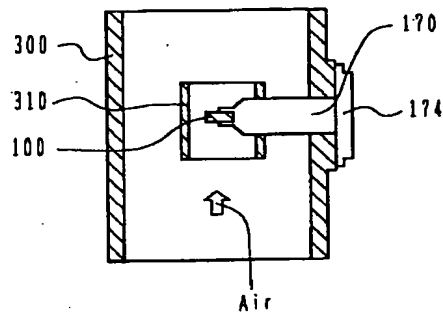


【図1】



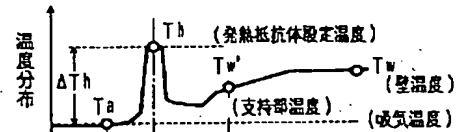
120A: 上流側発熱抵抗体
120B: 下流側発熱抵抗体
120C: 第1の空気温度測温抵抗体
120D: 第2の空気温度測温抵抗体
120E: 指示部温度測温抵抗体

【図4】

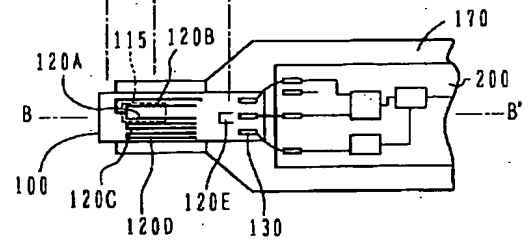


【図6】

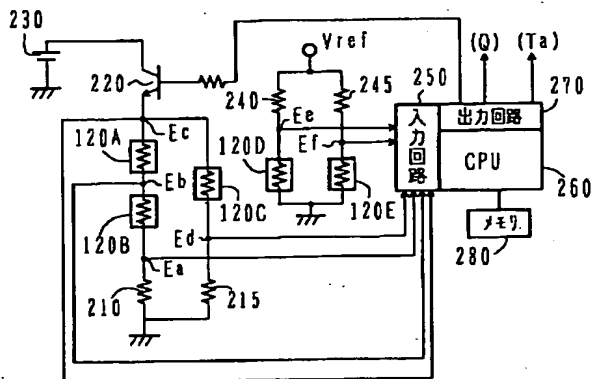
(A)



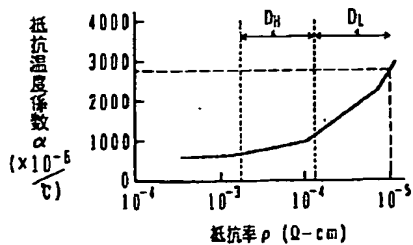
(B)



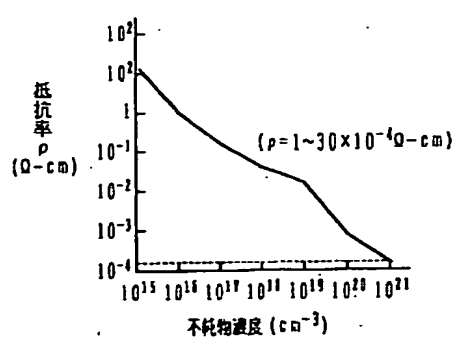
【図5】



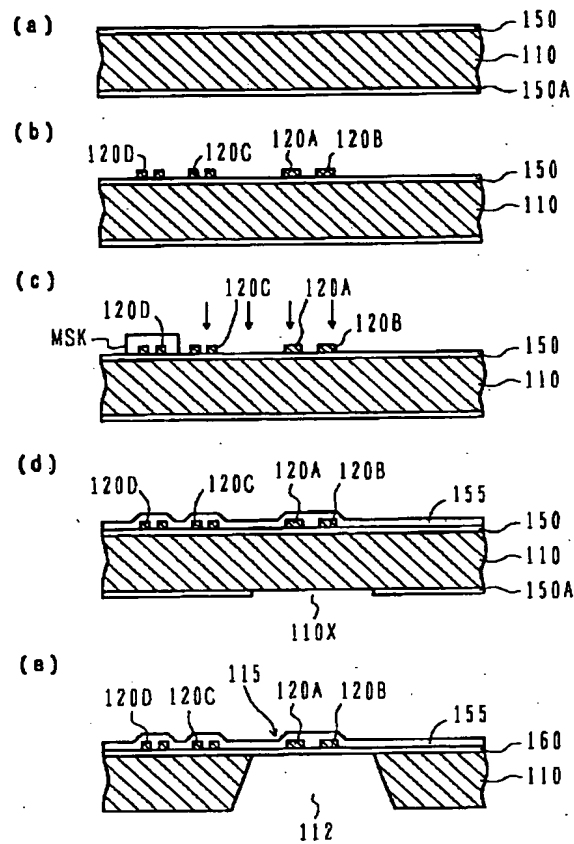
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72) 発明者 渡辺 泉
茨城県ひたちなか市高場2477番地 株式会
社日立カーエンジニアリング内

(72) 発明者 中田 圭一
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株
式会社日立製作所自動車機器事業部内